Вестник Донского государственного технического университета. 2019. Т. 19, № 1. С. 31–37. ISSN 1992-5980 eISSN 1992-6006
Vestnik of Don State Technical University. 2019. Vol. 19, no. 1, pp. 31–37. ISSN 1992-5980 eISSN 1992-6006

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 621.7/9 https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-1-31-37

Особенности формирования композитных электрохимических покрытий на основе никеля и наноструктурного диборида циркония[*]

Л. А. Дегтярь[1], И. С. Иванина[2], И. Ю. Жукова[3]**
[1,2,3]Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация
[1]Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский, Российская Федерация

Formation features of composite electrochemical nickel and nanostructured zirconium boride coatings[***]

L. A. Degtyar[1], I. S. Ivanina[2], I. Yu. Zhukova[3]**
[1,2,3]Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
[1]Don State Agrarian University, Persianovsky village, Russian Federation

Введение. Исследован процесс электроосаждения композитных электрохимических покрытий из электролита-коллоида никелирования, содержащего ультрадисперсный порошок диборида циркония.
Цели работы: исследование физико-механических свойств композитов на основе никеля и наноструктурного диборида циркония, а также определение оптимальных условий нанесения такого электрохимического покрытия.
Материалы и методы. Микротвердость композитных электрохимических покрытий измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3 на образцах с толщиной слоя 30 мкм при нагрузке на индентор 100 г. Для определения износостойкости покрытий использовали трехшариковую машину трения. Испытания образцов проводили в режимах сухого трения и с применением 3 % смазочно-охлаждающей жидкости РВ. Значения диаметра пятна износа измерили под микроскопом МИР-3 ТУ 3-3.1954-86. Для определения внутренних напряжений в покрытии воспользовались методом гибкого катода в соответствии с ГОСТ 9.302-88.
Результаты исследования. Разработан состав электролита-коллоида и режимы электроосаждения композитных покрытий никель — наноструктурный диборид циркония. Проведен анализ физико-механических свойств (микротвердость, износостойкость и внутренние напряжения) полученных композитных электрохимических покрытий. Сформулированы рекомендации по использованию разработанного электролита и нанесению композитного покрытия на детали машин для их поверхностного упрочнения.
Обсуждение и заключение. КЭП $Ni–ZrB_2$ имеет высокую микротвердость (10–11 гПа при нагрузке на индентор 100 г), что превышает микротвердость чистого никеля в 1,5–2 раза. При возрастании микротвердости снижаются внутренние напряжения КЭП $Ni–ZrB_2$. Предлагаемые покрытия сравнивались с хромовыми, осаждаемыми из экологически опасных электролитов. Износостойкость КЭП

Introduction. The electrodeposition of composite electrochemical coatings from electrolyte-colloid nickel plating containing ultradisperse zirconium boride powder is studied. The work objectives are as follows: to study mechanical-and-physical properties of the composites based on nickel and nanostructured zirconium boride, and to determine optimal conditions for the application of such electrochemical coatings.
Materials and Methods. Microhardness of composite electrochemical coatings was measured using PMT-3 microhardness tester on samples with the layer thickness of 30 μm under the indentation load of 100 g. A three-ball machine was used to determine wear resistance of the coatings. Sample tests were carried out under dry friction modes and with the use of 3% RV coolant. WSD values were measured by MIR-3 TU 3-3.1954-86 microscope. To determine the internal stresses in the coating, we used a flexible cathode method up to GOST 9.302-88.
Research Results. The electrolyte-colloid composition and modes of electrodeposition of composite nickel - nanostructured zirconium boride coatings are developed. Mechanical-and-physical properties (microhardness, wear resistance and internal stresses) of the obtained composite electrochemical coatings are analyzed. Recommendations for use of the developed electrolyte and the application of a composite coating on machine parts for their surface hardening are formulated.
Discussion and Conclusions. $Ni–ZrB_2$ CEC (composite electrochemical coating) has high microhardness (10–11 hPa at the indentation load of 100 g), which exceeds the microhardness of pure nickel by 1.5–2 times. As the microhardness increases, the internal stresses of $Ni–ZrB_2$ CEC decrease. The proposed coatings were compared to chromium ones deposited from the environmentally hazardous electrolytes. The wear resistance of



[*]Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
[**]E-mail: degtiar@yandex.ru, i.ivanina96@mail.ru, iyuzh@mail.ru
[***] The research is done within the frame of the independent R&D.

$Ni–ZrB_2$ в 2–5 раз больше, чем у хромовых покрытий. Таким образом, рекомендуется вместо хромовых покрытий использовать предлагаемый состав для поверхностного упрочнения деталей специальной техники и промышленного оборудования.

$Ni–ZrB_2$ CEC is 2–5 times higher than that of chromium coatings. Thus, instead of chromic coatings, it is recommended to use the proposed composition for surface hardening of parts of the specialty machinery and industrial equipment.

Ключевые слова: электролит, композитное электрохимическое покрытие, никель, диборид циркония, микротвердость, износостойкость, внутренние напряжения.

Keywords: electrolyte, composite electrochemical coating, nickel, zirconium boride, microhardness, wear resistance, internal stresses.

Образец для цитирования: Особенности формирования композитных электрохимических покрытий на основе никеля и наноструктурного диборида циркония / Л. А. Дегтярь [и др.] // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2019. — Т. 19, № 1. — С. 31–37 https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-1-31-37

For citation: L.A. Degtyar, et al. Formation features of composite electrochemical nickel and nanostructured zirconium boride coatings. Vestnik of DSTU, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 31–37. https://doi.org/10.23947/1992-5980-2019-19-1-31-37

Введение. Композитные материалы широко используются для упрочения поверхности типовых узлов и деталей нефтегазопромыслового, перерабатывающего и другого промышленного оборудования. В результате сочетания (композиции) разнородных веществ появляется новый материал, характеристики которого отличаются от свойств составляющих его компонентов [1].

Для улучшения эксплуатационных свойств гальванопокрытий в раствор вводятся дисперсные наполнители. Таким образом получается композитное электрохимическое покрытие (КЭП) с матрицей из основного металла. Именно создание КЭП является одним из актуальных направлений современной гальванотехники. Для получения КЭП дисперсные частицы различных размеров и видов из электролитов соосаждаются одновременно с металлами. Эти частицы включаются в покрытия, существенно улучшают их эксплуатационные свойства (твердость, износостойкость, коррозионную устойчивость) и придают им новые качества (антифрикционные, магнитные, каталитические).

Известны различные технологии получения КЭП на основе никеля [2–5]. Выбор технологии определяется условиями эксплуатации композитного покрытия (КП). При этом многообразие наполнителей для получения покрытий, обладающих определенными эксплуатационными свойствами, усложняет выбор дисперсных частиц [3, 5–9]. В [2, 3, 6–8, 10] рассмотрены физико-механические свойства различных КП на основе никеля с дисперсными наполнителями (например, наноуглеродный материал «Таунит», оксид алюминия, карбид кремния, графит и т. п.). В указанных работах, в частности, отмечено, от чего зависят структурные и морфологические характеристики КЭП [7–9], их устойчивость к коррозии [7, 11], коэффициент трения скольжения [8], жаростойкость, микротвердость и др. свойства [11]. В качестве определяющих факторов названы условия и режимы осаждения КП, состав электролитов, природа и степень дисперсности порошковых или иных материалов-добавок. Использование микропорошков с величиной зерна более 1 мкм и ультрадисперсных порошков или суспензий может изменить характер соосаждения частиц с выделяемым металлом, а, следовательно, и характеристики КЭП [9]. В присутствии дисперсной фазы свойства электролитов и покрытий из них получают ряд преимуществ [12, 13, 14], важных с точки зрения практического применения.

Интерес представляют никелевые КП, получаемые из электролитов, с добавками на основе диоксида циркония для улучшения морфологии поверхности, микротвердости, жаростойкости и других свойств [5, 15]. Диборид циркония (ZrB_2) в качестве добавки в электролиты для получения КП не исследовался. Однако известно, что соединения циркония и бора значительно улучшают механические и технологические свойства гальванических покрытий [16]. Целью настоящей работы является исследование физико-механических свойств КЭП на основе никеля и наноструктурного ZrB_2, а также определение оптимальных условий его нанесения.

Материалы и методы. Для изготовления электролитов использовались реактивы фирмы *Aldrich* и дистиллированная вода. Содержание ZrB_2 в покрытии определялось весовым (гравиметрическим) методом. Микротвердость КЭП измерялась микротвердомером ПМТ-3. Для этого использовались образцы с толщиной слоя 30 мкм при нагрузке на индентор 100 г. Выход по току покрытий получен с помощью медного кулонометра. Износостойкость покрытий определялась на трехшариковой машине трения. Образцы испытывались в режимах сухого трения и с применением 3 % смазочно-охлаждающей жидкости РВ [17]. Износостойкость КЭП исследовалась следующим образом. На шарики из стали ШХ 15 площадью 0,05 дм^2 наносили покрытия толщиной 30 мкм. Контртелом служили шайбы из стали марки Ст 45. Значения диа-

метра пятна износа измеряли при помощи микроскопа МИР-3 ТУ3-3.1954-86. Для определения внутренних напряжений в покрытии воспользовались методом гибкого катода в соответствии с ГОСТ 9.302-88.

Результаты исследования. Изучены процесс электроосаждения и некоторые свойства КЭП с ультрадисперсным порошком (УДП) ZrB_2 (0,04–0,06 мкм). Создание на основе никеля КЭП, имеющих определенные физико-механические характеристики, требует учета ряда факторов. В данном случае в первую очередь принимается во внимание перспектива взаимодействия дисперсной фазы, заранее введенной в электролит, и коллоидных частиц, образующихся в растворе в процессе электролиза или при приготовлении электролита [12, 13].

Для исследований использовали сульфатно-хлоридный электролит-коллоид никелирования следующего состава, г/л: сульфат никеля — 250, хлорид никеля — 60, α-аминоуксусная кислота — 20. Концентрацию ZrB_2 варьировали в пределах от 1 до 60 г/л.

Выявлены оптимальные условия электролиза в присутствии УДП ZrB_2. С этой целью определены интервалы значений катодной плотности тока и pH электролита, в которых образуется КЭП хорошего качества. В составе исследуемого электролита в качестве буферной добавки присутствовала α-аминоуксусная кислота. Ее максимальные буферные свойства проявлялись при pH 2–2,5: в этом случае образовались светло-матовые покрытия хорошего качества. Наличие эффективной буферной добавки в электролите позволяет вести электролиз при высокой катодной плотности тока.

Если в электролите отсутствует ZrB_2, то предельное значение катодной плотности тока составляет 2 А/дм^2. При превышении этого показателя на исследуемых образцах образуется темный контур. Это указывает на подщелачивание в прикатодном слое, образование гидроксида никеля в грубодисперсной форме и включение его в покрытие [12]. В данном случае ухудшаются физико-механические свойства осадков, увеличивается их хрупкость, по краям катода наблюдается растрескивание покрытия.

Введение УДП ZrB_2 в электролит существенно влияет на величину предельного значения плотности тока. Осадки хорошего качества образуются выше допустимой плотности тока, характерной для исследуемого электролита без добавки ZrB_2. В опытах покрытия без темного контура получены при 3; 4; 6 и 8 А/дм^2. При плотности тока выше 4 А/дм^2 на углах катода образовались дендриты. Их появление означает, что лимитирующей стадией процесса является доставка ионов никеля [12]. Концентрационная поляризация устраняется при увеличении концентрации соли никеля в электролите. При концентрации сульфата никеля 300 г/л и высоких плотностях тока дендриты на катоде не образовались.

Изменение величины выхода по току покрытия в зависимости от катодной плотности тока обусловлено появлением дендритов на катоде. С увеличением плотности тока выход по току растет, достигает максимального значения при 3 А/дм^2, а затем резко снижается (рис. 1).

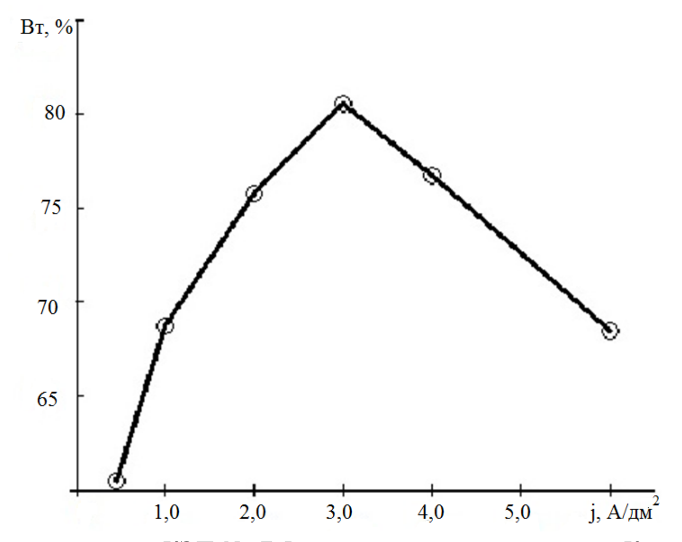


Рис. 1. Зависимость выхода по току КЭП Ni–ZrB_2 от катодной плотности тока. Концентрация порошка в электролите — 40 г/л; температура электролита — 50 °C; pH 2

При промывке образцов дендриты частично утрачиваются, в результате снижаются значения выхода по току покрытия при плотности тока выше 4 А/дм^2. Эффект увеличения верхнего значения плотности тока в присутствии ZrB_2 можно объяснить высокой степенью его дисперсности. Размер частиц порошка соизмерим с толщиной двойного электрического слоя, поэтому при движении частиц у поверхности катода они могут попадать в зону двойного слоя. В этом случае в прикатодном слое в перемешивании электролита

участвуют коллоидные соединения никеля. Они образуются в электролите во время приготовления и электроосаждения, а в процессе электролиза предотвращают резкое подщелачивание.

Буферная емкость электролита при добавке ZrB_2 остается практически неизменной. Значение pH в прикатодном слое, по-видимому, снижается за счет поступления новых порций ZrB_2 из объема электролита. Вероятность этого явления подтверждается тем, что верхнее значение рабочей плотности тока не увеличивается в присутствии микропорошков ZrB_2 (5 мкм) в электролите аналогичного состава.

Оптимальная концентрация ZrB_2 в электролите определялась по его содержанию в покрытии и по значениям микротвердости КЭП. Установлено, что в исследуемом КЭП содержание ZrB_2 достигает максимума (1,1 масс. %) при его концентрации в электролите 40–60 г/л. С увеличением катодной плотности тока при всех исследованных концентрациях добавки ZrB_2 в электролит содержание ZrB_2 в КЭП возрастает до максимального предела (1,1 масс. %). КЭП со стабильными характеристиками по микротвердости образуется при концентрации ZrB_2 в электролите 30–40 г/л. Из экономических и технологических соображений концентрация порошка не должна превышать 40 кг/м^3. В противном случае:

— снижается эффективность перемешивания электролита,

— сложно исключить наличие частиц на труднодоступных для циркуляции электролита участках поверхности детали,

— ухудшается качество покрытий.

Рассмотрена зависимость содержания ZrB_2 в КЭП от концентрации его в электролите. Показано, что при концентрации частиц ZrB_2 10 г/л с величиной зерна 2–9 мкм расстояние между частицами ZrB_2 в покрытии составляет приблизительно 1/3 от расстояния между частицами в электролите. При увеличении концентрации ZrB_2 в 10–20 раз расстояние между частицами в электролите уменьшается, а в покрытии остается практически без изменений. Концентрация ZrB_2 в электролите может быть значительно уменьшена, а в покрытии содержание частиц не снизится. Таким образом, использование электролитов с высокой концентрацией ZrB_2 нецелесообразно, так как максимальное содержание ZrB_2 в покрытии достигается при более низкой его концентрации в электролите.

Микротвердость КЭП с ZrB_2 повышается с увеличением концентрации порошка в электролите. Наибольшего значения (11 ГПа) она достигает при концентрации УДП ZrB_2 50–60 г/л и плотности тока 5–6 А/дм^2. При низких плотностях тока (0,5 А/дм^2 и 1 А/дм^2) микротвердость постепенно возрастает с увеличением концентрации второй фазы. При плотностях тока выше 2 А/дм^2 микротвердость КЭП резко увеличивается и уже при концентрации ZrB_2 1 г/л превышает микротвердость чистого никеля в 1,5–2 раза.

Увеличение микротвердости КЭП в присутствии ультрадисперсной второй фазы объясняется не только включением твердых и коллоидных частиц никеля в покрытие, но и уменьшением кристаллического зерна при высоких плотностях тока, а также дисперсионным твердением никелевой матрицы. Существует мнение, что необходимым условием проявления дисперсионного твердения покрытия является наличие в нем ультратонких частиц, которые препятствуют рекристаллизации и образованию грубых зерен [18]. С одной стороны, частицы с размером субмикронного порядка подавляют рост кристаллических зерен, с другой — они образуют в электролите агломераты и не могут внедряться в покрытие как отдельные частицы. По-видимому, какая-то часть второй фазы включается в осадок (КЭП) в виде индивидуальных частиц и способствует образованию мелкокристаллической структуры никелевой матрицы с высокой твердостью. Вероятность указанного явления нельзя отрицать хотя бы по той причине, что частицы одинаковой природы, отличающиеся степенью дисперсности, проявляют различную способность к увеличению микротвердости КЭП.

Возможность получения КЭП с низким содержанием второй фазы и высокой твердостью приобретает особое значение для увеличения износостойкости поверхности, так как матрица в этом случае должна обладать определенной эластичностью. Значительное увеличение объемного содержания твердых частиц обусловливает хрупкость материалов. Таким образом, применение УДП для получения износостойких покрытий продиктовано практикой. Немаловажное значение имеет снижение расхода второй фазы, а, следовательно, экономичность процесса.

Известно, что твердость покрытий позволяет косвенно судить о некоторых физико-механических свойствах КЭП. В ряде случаев она удовлетворительно коррелирует с износостойкостью [4]. Однако максимальная микротвердость не всегда соответствует высокой износостойкости. Последняя зависит от взаимодействия различных факторов процесса, а также от конкретных условий трения. Поэтому износостойкость КЭП с ZrB_2 сравнивалась с хромовыми гальваническими покрытиями, традиционно применяемыми в качестве износостойких [19]. При этом рассматривались режимы трения со смазкой и без смазки. Согласно

полученным результатам, срок службы деталей с покрытием $Ni–ZrB_2$ в 2–5 раз больше, чем у деталей с твердым хромовым покрытием.

Внутренние напряжения композиционных покрытий $Ni–ZrB_2$ снижаются с увеличением концентрации ZrB_2 в электролите и толщины покрытия. Различия в значениях внутренних напряжений никелевых КЭП растут с увеличением толщины осадка (рис. 2).

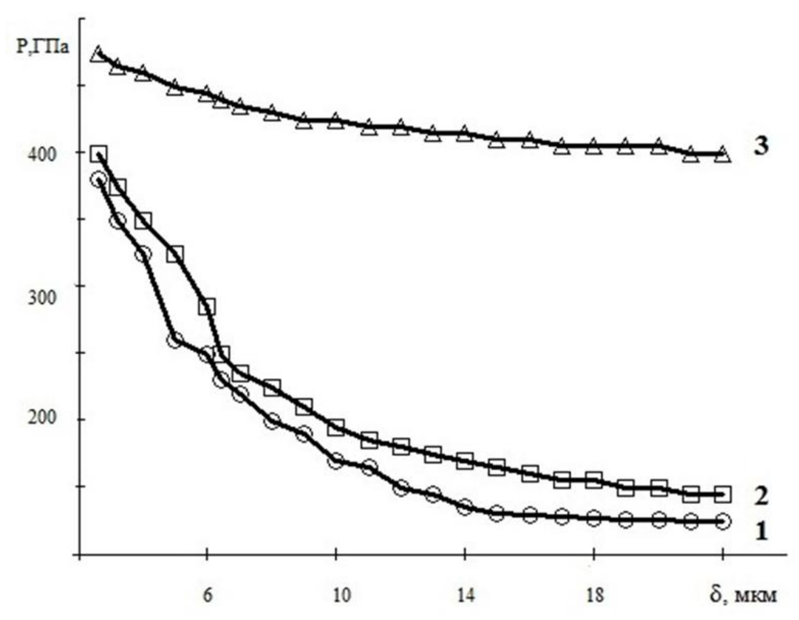


Рис. 2. Зависимость внутренних напряжений от толщины покрытия и концентрации диборида циркония в электролите, г/л: 1 — 30; 2 — 5; 3 — без второй фазы. Катодная плотность тока — 2 А/дм^2; температура электролита — 50 °С; pH 2

Для гальванических покрытий характерна закономерность: чем мельче кристаллическое зерно и выше твердость, тем больше величина внутренних напряжений. В присутствии ZrB_2 микротвердость покрытий резко возрастает, а внутренние напряжения снижаются. Для объяснения этого несоответствия общей закономерности необходимо учесть влияние частиц второй фазы (частиц УДП ZrB_2 и коллоидных частиц, образующихся в электролите) на степень наводороживания осадка. На частицах второй фазы разряд ионов водорода (и, соответственно, более полное удаление молекулярного водорода) происходит быстрее, чем на поверхности никеля, поэтому степень наводороживания осадка снижается, что приводит к снижению внутреннего напряжения покрытия.

Обсуждение и заключения. Таким образом, авторы представленной работы предлагают следующий состав сульфатно-хлоридного электролита-коллоида никелирования для нанесения КЭП на основе никеля и наноструктурного ZrB_2, г/л: сульфат никеля — 250; хлорид никеля — 60; α-аминоуксусная кислота — 20; УДП ZrB_2 — 30–40. Режим электролиза: катодная плотность тока — 2–4 А/дм^2; pH электролита — 2–2,6; температура — 50 °С; в процессе электролиза необходимо перемешивать электролит.

Разработан состав электролита и установлен технологический режим для нанесения КЭП на основе никеля с добавкой ZrB_2. Исследованы физико-механические свойства полученного КЭП $Ni–ZrB_2$: микротвердость, износостойкость и внутренние напряжения.

КЭП имеет высокую микротвердость (10–11 ГПА при нагрузке на индентор 100 г), что превышает микротвердость чистого никеля в 1,5–2 раза. Износостойкость в 2–5 раз больше, чем у хромовых покрытий. При возрастании микротвердости снижаются внутренние напряжения КЭП $Ni–ZrB_2$.

Учитывая перечисленные параметры, предлагаемый метод может использоваться для поверхностного упрочнения деталей специальной техники и промышленного оборудования.

Библиографический список

1. Целуйкин, В. Н. Композиционные электрохимические покрытия: получение, структура, свойства / В. Н. Целуйкин // Физикохимия поверхности и защита материалов. — 2009. — Т. 45, № 3. — С. 287–301.

2. Композиционные электрохимические покрытия на основе никеля / Г. И. Десяткова [и др.] // Защита металлов. — 2002. — Т. 38, № 5. — С. 525–529.

3. Овчаренко, О. А. Электроосаждение и физико-механические свойства композиционных покрытий $Ni–Al_2O_3$ / О. А. Овчаренко, Н. Д. Сахненко, М. В. Ведь // Современные методы в теоретической и экс-

периментальной электрохимии : тезисы докл. VII Междунар. науч. конф. — Иваново : Ин-т химии растворов им. Г. А. Крестова, 2015. — С. 159.

4. Дегтярь, Л. А. Физико-механические характеристики композиционных электрохимических покрытий на основе никеля / Л. А. Дегтярь // Инновационные пути развития АПК: проблемы и перспективы : мат-лы междунар. науч.-практ. конф. — Персиановский : ДГАУ, 2013. — Т. 1. — С. 13–14.

5. Fabrication and characterization of Ni-ZrO_2 composite nano-coatings by pulse electrodeposition/ W. Wang [et al.] // Scripta Materialia. — 2005. — P. 613–618.

6. Разработка технологии получения наномодифицированных гальванических покрытий / Ю. В. Литовка [и др.] // Покрытия и обработка поверхности : 7-я междунар. конф. — Москва : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2010. — С. 55.

7. Haghmoradi, N. The correlation among deposition parameters, structure and corrosion behaviour of ZnNi/nano-SiC composite coating deposited by pulsed and pulsed reverse current / N. Haghmoradi, C. Dehghanian, H. Khanlarkhani // Transactions of the IMF. — 2018. — Vol. 96. — P. 155–162.

8. Целуйкин, В. Н. Трибологические свойства композиционных электрохимических покрытий на основе никеля / В. Н. Целуйкин // Трение и износ. — 2010. — Т. 31, № 5. — С. 475–478.

9. Композиционное электрохимическое покрытие : патент 2048573 Рос. Федерация : МПК C22C 19/03A / Л. А. Дегтярь, И. Д. Кудрявцева, Г. Н. Сысоев ; Новочеркасский политехнический институт. — № 5020525/02 ; заявл. 01.03.1992 ; опубл. 20.11.1995, Бюл. № 21 (51). — 4 с.

10. Новоторцева, И. Г. О свойствах композиционных покрытий на основе никеля / И. Г. Новоторцева, Т. В. Гаевская // Журнал прикладной химии. — 1999. — Т. 72, № 5. — С. 789–791.

11. Композиционные покрытия с различной металлической матрицей / Г. Г. Мингазова [и др.] // Вестник Казан. технологич. ун-та. — 2012. — Т. 12, № 20. — С. 81–83.

12. Кудрявцева, И. Д. Электроосаждение металлов из электролитов-коллоидов / И. Д. Кудрявцева, Ф. И. Кукоз, В. И. Балакай // Итоги науки и техники. — (Электрохимия). — 1990. — Т. 33 — С. 50–85.

13. Electrodeposition from Colloid-electrolyte bath: Some new features [Электронный ресурс] / L. A. Degtyar [et al.] // 50 ISE Conference, Pavia (Italy), 5–10 September, 1999 // Russian Journal of Electrochemistry. — Режим доступа: https://link.springer.com/journal/11175 (дата обращения 06.02.19).

14. Композиционные электрохимические покрытия на основе никеля / Р. Е. Фомина [и др.] // Вестник Казан. технологич. ун-та. — 2018. — Т. 21, № 2. — С. 70–73.

15. Горелов, С. М. Получение и свойства композиционного покрытия на основе никеля с наноразмерным диоксидом циркония / С. М. Горелов, Т. Е. Цупак, О. В. Яровая // Гальванотехника и обработка поверхности. — 2014. — Т. 22, № 4. — С. 32–36.

16. Рогожин, В. В. Особенности катодного осаждения никель-борных покрытий из сернокислого электролита с добавками полиэдрических боратов / В. В. Рогожин // Журнал прикладной химии. — 2008. — Т. 84, № 5. — С. 757–760.

17. Шульга, Г. И. Влияние водорастворимых смазочных материалов на самоорганизацию трибосопряжений при ротационной вытяжке листовых сталей / Г. И. Шульга, А. Я. Гоголев, В. П. Афонин // Известия вузов. Сев.-Кавк. регион. — 1999. — № 4. — С. 28–32. — (Технические науки).

18. Мартин, Дж. Микромеханизмы дисперсионного твердения сплавов / Дж. Мартин. — Москва : Металлургия, 1983. — 167 с.

19. Восстановление изношенных изделий сельскохозяйственной техники гальваническим хромированием / Н. Ю. Стекольникова [и др.] // Вестник Тамбов. гос. техн. ун-та. — 2016. — Т. 22, № 4. — С. 679–686.

Поступила в редакцию 02.11.2018
Сдана в редакцию 02.11.2018
Запланирована в номер 15.01.2019

Received 02.11 .2018
Submitted 02.11.2018
Scheduled in the issue 15.01.2019

Об авторах:

Дегтярь Людмила Андреевна,
доцент кафедры «Химические технологии нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доцент кафедры «Естественнонаучные дисциплины» Донского государственного аграрного университета (РФ, 346495, Ростовская область, Октябрьский (с) район, пос. Персиановский, ул. Кривошлыкова, 24), кандидат технических наук,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7018-6483
degtiar@yandex.ru

Иванина Инна Сергеевна,
магистрант кафедры «Химические технологии нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4635-3464
i.ivanina96@mail.ru

Жукова Ирина Юрьевна,
заведующий кафедрой «Химические технологии нефтегазового комплекса» Донского государственного технического университета (РФ, 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9902-3821
iyuzh@mail.ru

Authors:

Degtyar, Ludmila A.,
associate professor of the Chemical Technologies of Oil and Gas Complex Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), associate professor of the Natural Sciences Department, Don State Agrarian University (24, Krivoshlykova St., Persianovaky vill., Rostov Region, 346495, RF), Cand.Sci. (Eng.),
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7018-6483
degtiar@yandex.ru

Ivanina, Inna S.,
graduate student of the Chemical Technologies of Oil and Gas Complex Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF),
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4635-3464
i.ivanina96@mail.ru

Zhukova, Irina Yu.,
Head of the Chemical Technologies of Oil and Gas Complex Department, Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344000, RF), Dr.Sci. (Eng.), professor,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9902-3821
iyuzh@mail.ru